



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 198 08 517 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 R 15/24
G 01 C 19/72

②1 Aktenzeichen: 198 08 517.6
②2 Anmeldetag: 27. 2. 98
④3 Offenlegungstag: 16. 9. 99

DE 198 08 517 A 1

⑦1 Anmelder:
Litef GmbH, 79115 Freiburg, DE

⑦4 Vertreter:
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667
München

⑦2 Erfinder:
Handrich, Eberhard, Dr., 79199 Kirchzarten, DE;
Kemmler, Manfred, Dipl.-Phys., 79279 Vörstetten,
DE

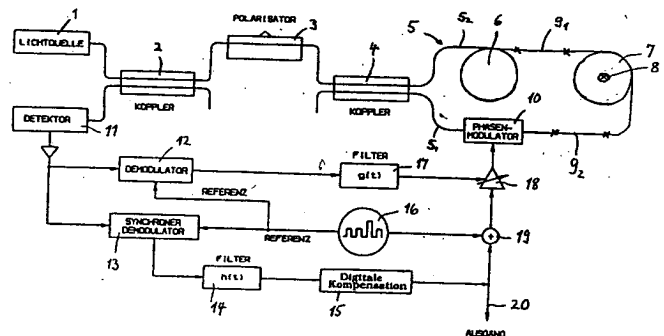
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 31 32 414 A1
EP 02 90 780 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Einrichtung zur Strommessung

⑤7 Zur genauen, berührungsfreien, vorzugsweise digitalen Messung großer Ströme, insbesondere in Hochspannungs-Verteilern und -Netzen, wird mit der Erfindung vorgeschlagen, einen faseroptischen Kreisel mit geschlossener Regelschleife zu verwenden, bei dem eine Strommeßspule (7) die eigentliche Sensorspule (6) mindestens teilweise ersetzt. Das Meßprinzip basiert auf dem Faraday-Effekt. Die Strommeßeinrichtung läßt sich problemlos zur Strommessung in Versorgungsanlagen der genannten Art einsetzen.



DE 198 08 517 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Strommessung, bestimmt insbesondere für die Strommessung in Hochspannungs-Verteilern und -Netzen.

Die Messung von großen Strömen im Meßbereich von beispielsweise 1 kA bis 65 kA mit einem Schwerpunktmessbereich von etwa 10 kA stellt ein technisches Problem dar, wenn die Bandbreite der Meßfrequenz vom DC-Bereich bis beispielsweise 1 kHz reichen soll, mit Hauptlast im Bereich der Netzfrequenz von 50 Hz.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strommeßeinrichtung insbesondere für einen vergleichsweise weiten Frequenzbereich und einen großen Strombereich zu schaffen mit einer Meßauflösung von etwa 0,1% bis höchstens 1%.

Eine erfindungsgemäße Einrichtung zur Strommessung ist gekennzeichnet durch ein faseroptisches Sagnac-Interferometer, in dessen Lichtweg, der von zwei gegenläufigen, durch Strahlteilung eines von einer Lichtquelle stammenden Lichtstrahls entstandenen Teillichtstrahlen durchsetzt wird, eine faseroptische Strommeßspule eingesetzt ist, die von einem den zu messenden Strom oder einen dazu proportionalen Stromanteil führenden Leiter durchsetzt ist.

Vorzugsweise entspricht der Aufbau des faseroptischen Sagnac-Interferometers einem Faserkreisel mit geschlossener Regelschleife, weiterhin vorzugsweise mit digitaler Rückstellung, bei dem die Strommeßspule die Sensorspule mindestens teilweise ersetzt.

Die Ausnutzung des hier maßgeblichen Faraday-Effekts ist in umgekehrter Richtung also zur Beeinflussung eines Lichtwegs im Sinne eines Phasenschiebers über eine den Lichtweg umschließende Spule (vgl. FR 2 465 199 B1) oder in Verbindung mit Rotationsmeßeinrichtungen auch zur Bestimmung von Druck, Spannung und Torsion bekannt (vgl. US 4 436 422). Die Verwendung eines Faserkreisels mit digitaler Phasenrampenrückstellung zur berührungslosen bzw. kontaktlosen Strommessung ist jedoch ein völlig neues Strommeßprinzip.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnung vorgestellt, deren einzige Figur den Prinzip-Blockschaltbildaufbau eines Faserkreisels mit digitaler Rückstellung zeigt, dessen (Drehraten-)Sensorspule erfindungsgemäß "zweckentfremdet" und als Strommeßspule verwendet bzw. um eine solche Strommeßspule ergänzt ist.

Der bekannte Aufbau eines faseroptischen Kreisels mit digitaler Rückstellung umfaßt eine Lichtquelle 1, deren Licht in eine Faserstrecke über einen ersten Strahlteiler 2, einen Polarisator 3 auf einen Hauptstrahlteiler 4 gelangt, von dessen beiden Ausgängen aus die entstandenen beiden Teillichtstrahlen in die entgegengesetzten Enden 5₁, 5₂, also in gegenläufige Richtung in einen geschlossenen Lichtweg 5, eingestrahlt werden. Der geschlossene Lichtweg 5 besteht im Falle der Verwendung als Drehratensensor insbesondere aus einer polarisationserhaltenden Monomodefaser (PM-Faser) mit einer bestimmten Länge von beispielsweise 100 m, die zu einer Sensorspule 6 gewickelt ist. An einem Ende des geschlossenen Lichtwegs ist ein Phasenmodulator 10 vorgesehen, über den einerseits die Arbeitspunkteinstellung und andererseits die Drehraten-Rückstellung bzw. im vorliegenden Fall die Stromwertrückstellung erfolgt (wird nachfolgend näher erläutert). Die beiden gegenläufigen Lichtstrahlen werden nach Durchlaufen des Lichtwegs 5 im Hauptstrahlteiler wieder vereinigt und interferieren miteinander. Der zurücklaufende Lichtstrahl gelangt über den Polarisator 3 und den ersten Strahlteiler 2 auf einen Fotodetektor 11 mit nachgeschaltetem Filter und Vorverstärker, der einen Demo-

dulator 12 einerseits und einen Synchrondemodulator 13 andererseits speist, deren Referenzfrequenz von einem Referenzgenerator 16 stammt, der ein auf die Durchlaufzeit des Lichts durch den Lichtweg 5 abgestimmtes Signal mit statistisch verteilten Phasensprüngen von $n \cdot \lambda/4$ liefert, mit denen über einen Signaladdierer 19 und einen AGC-Verstärker 18 am Phasenmodulator 10 die Lichtphase moduliert wird. Die Phasensprünge für ungerades n liefern das Referenzsignal für den Synchrondemodulator 13. Dessen Ausgangssignal kompensiert nach Filterung 14 über eine digitale Kompensation 15 über 19 und den AGC-Verstärker 18 am Phasenmodulator 10 die SAGNAC-Phase, so daß das Kompensationssignal der Drehrate bzw. im vorliegenden Fall dem Strom entspricht, das an einem Ausgang 20 unmittelbar als Digitalsignal zur Verfügung steht.

Die Phasensprünge eines Referenzgenerators 16 für gerades n liefern das Referenzsignal für den Demodulator 12, dessen Ausgangssignal über ein Filter 17 die Verstärkung des AGC-Verstärkers 18 so steuert, daß das Ausgangssignal des Demodulators 12 Null ist. Damit wird der Skalenfaktor des Phasenmodulators 10 und damit auch der Skalenfaktor des Ausgangssignals geregelt.

Erfindungsgemäß wird nach dem Grundkonzept der Erfindung die Sensorspule 6, Jedoch insbesondere und vorzugsweise eine separate in den geschlossenen Lichtweg 5 eingesetzte oder einsetzbare Strommeßspule 7 als Stromsensor verwendet, die - wie dargestellt - vom Leiter 8 des zu messenden Stroms bzw. von einem Leiter durchsetzt ist, der einen zum zu messenden Strom proportionalen Stromanteil führt. Das Meßprinzip basiert auf dem Faraday-Effekt. Die vom Strom durch den Leiter 8 verursachte Drehung der Polarisation des Lichts im Lichtweg 5 wird gemessen.

Die als spezielle Faserspule ausgeführte Strommeßspule 7 ist vorzugsweise aus einer Single-Mode-Faser mit einer Länge L hergestellt, wobei dafür zu sorgen ist, daß in der Strommeßspule 7 zumindest vorzugsweise zirkularpolarisiertes Licht fließt, um eine maximale Wirkung des Faraday-Effekts zu gewährleisten. Die Sensorspule 6 andererseits wird um die Länge L gekürzt (z. B. 100 m-L); sie ist aus PM-Faser gewickelt. Zur Optimierung des Faraday-Effekts und des Meßergebnisses sind vor der Strommeßspule 7 $\lambda/4$ -Phasenschieberelemente 9₁, 9₂ eingesetzt, insbesondere verwirklicht mittels eines jeweils kurzen Stücks einer schwach doppelbrechenden PM-Faser. Die Spule 7 des Stromsensors wird vorzugsweise aus wärmebehandelter SM-Faser hergestellt; ihre Länge dient zur Anpassung an den jeweiligen Bereich der Stromstärke. Für eine Länge $L = 5$ m und einen Durchmesser der Strommeßspule 7 von 5 cm ergeben sich ca. $N = 15$ Wicklungen. Damit lassen sich folgende Wertebereiche für die Strommessung erzielen:

Empfindlichkeit $3,9 \times 10^{-5}$ rad/A

Meßbereich $(\pm \pi/2) \pm 40$ kA

Rauschanteil über den gesamten Meßbereich bei 1 kHz $(0,6^\circ/\text{h})$ 14 A.

Die Auflösung ist durch Rauschen auf 0,036% des Bereichs beschränkt. Der Strommeßbereich läßt sich durch die Länge L der Strommeßspule 7 anpassen.

Bei Verwendung eines bekannten Faserkreisels mit digitaler Rückstellung wird der "Umbau" zum Strommesser gemäß der Erfindung so verwirklicht, daß zwei Faserenden des Lichtwegs 5 zur Minimierung des Vibrations-Shupe-Effekts vorzugsweise von der Mitte der Sensorspule 6 herausgeführt werden, wobei die $\lambda/4$ -Phasenschieberelemente 9₁, 9₂ und die Strommeßspule 7 innerhalb oder außerhalb des Gehäuses des Faserkreisels vorgesehen werden können.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Strommessung, gekennzeichnet durch ein faseroptisches Sagnac-Interferometer, in dessen Lichtweg (5), der von zwei durch Strahlteilung eines von einer Lichtquelle (1) stammenden Lichtstrahls entstandenen gegenläufigen Teillichtstrahlen durchsetzt wird, eine faseroptische Strommeßspule (7) eingesetzt ist, die von einem den zu messenden Strom oder einem dazu proportionalen Stromanteil führenden Leiter (8) durchsetzt ist. 5 10
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau des faseroptischen Sagnac-Interferometers einem Faserkreisel mit geschlossener Regelschleife entspricht, bei dem die Strommeßspule (7) die Sensorspule (6) mindestens teilweise ersetzt. 15
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in den von den gegenläufigen Teillichtstrahlen durchsetzten Lichtweg (5) Jeweils vor den Anschlußenden der Strommeßspule (7) ein $\lambda/4$ -Phasenschieber (9₁, 9₂) eingesetzt ist. 20
4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die $\lambda/4$ -Phasenschieber (9₁, 9₂) Jeweils durch ein kurzes Stück einer schwach doppelbrechenden Faser verwirklicht sind. 25
5. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strommeßspule (7) aus wärmebehandelter Single-Mode-Faser hergestellt ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

